

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 774 432

②① N° d'enregistrement national : 99 01222

⑤① Int Cl<sup>6</sup> : F 02 K 9/00, F 02 K 9/64, 9/97

22390 U.S. PAT.  
10/765426



⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 03.02.99.

③⑦ Priorité : 04.02.98 DE 19804232.

④③ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 06.08.99 Bulletin 99/31.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : DAIMLER BENZ AKTIENGESELLS-  
CHAFT — DE.

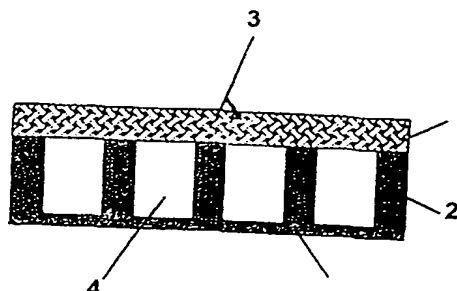
⑦② Inventeur(s) : SCHMIDT GUNTHER et BEYER  
STEFFEN.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET HERRBURGER.

⑤④ CHAMBRE DE COMBUSTION POUR DES MOTEURS ET DES TUYERES DE FORTE PUISSANCE.

⑤⑦ Chambre de combustion pour un moteur et une tuyère  
de forte puissance d'engins volants, notamment de fusées,  
comprenant une enveloppe extérieure et un corps de base  
intérieur exposé aux gaz chauds, ce corps de base étant  
muni d'un grand nombre de canaux de refroidissement.  
L'enveloppe extérieure (1) est en fibres longues C/ SiC  
et le corps de base intérieur (2) est en fibres courtes C/ SiC.



BEST AVAILABLE COPY

FR 2 774 432 - A1



La présente invention concerne une chambre de combustion pour des moteurs et des tuyères de forte puissance d'engins volants, notamment de fusées, cette chambre se composant d'un canal de pression extérieur et d'une paroi intérieure en contact avec les gaz chauds, cette paroi ayant un grand nombre de canaux de refroidissement.

Selon le document DE 35 35 779 on connaît une tuyère de poussée ou tuyère d'éjection des gaz pour un moteur de forte puissance, par exemple pour des fusées porteuses ou des engins spatiaux réutilisables, cette tuyère ayant un contour à symétrie de rotation. La section circulaire se rétrécit à partir de la chambre de combustion en direction de la section étroite, pour s'élargir de nouveau ensuite. Un tel contour à symétrie de rotation est simple à fabriquer et permet de recevoir efficacement les efforts développés par les gaz.

Du fait des températures élevées de l'ordre de 3000°C, il faut refroidir efficacement la tuyère de poussée. Dans le cas de la tuyère connue, qui se compose d'une enveloppe intérieure en un alliage de cuivre, on réalise ce refroidissement par des canaux de refroidissement dans la direction axiale ou dans la direction périphérique de l'enveloppe intérieure ; ces canaux sont traversés par un fluide de refroidissement, par exemple de l'hydrogène liquide brûlé dans la tuyère et qui est ainsi refroidi. Extérieurement, cette enveloppe intérieure est entourée sans laisser d'intervalle par une enveloppe de support recevant les efforts engendrés par la pression des gaz. Cette enveloppe de support doit avoir une très grande résistance à la traction alors que sa résistance à la chaleur est d'importance moindre du fait du refroidissement par l'intérieur.

On connaît également des tendances pour développer des avions hypersoniques également équipés d'une telle tuyère de poussée. Ces tuyères de poussée doivent avoir un rendement élevé pour engendrer la poussée, ce qui signifie qu'il faut juxtaposer plusieurs moteurs. Pour répondre à cette condition, on a déjà proposé des tuyères de poussée dont le contour de la section passe d'une section circulaire

au niveau de la chambre de combustion à une section rectangulaire au niveau de la sortie de la tuyère ou même de la section rétrécie de la tuyère.

Cela signifie que la paroi de la tuyère possède  
5 une forme courbe, compliquée. D'une part, l'enveloppe intérieure, relativement peu rigide, doit avoir un contour intérieur de forme précise pour permettre un passage optimum de l'écoulement et, d'autre part, il faut que l'enveloppe de support soit rigide en forme pour des raisons de solidité, ce  
10 qui ne permet pas son adaptation à la forme de l'enveloppe intérieure. La réalisation des deux enveloppes avec une précision de forme ainsi poussée pour la géométrie compliquée est néanmoins très difficile à réaliser.

Un autre inconvénient est qu'après la réunion des  
15 deux enveloppes il subsiste d'éventuelles cavités qui peuvent conduire, en fonctionnement, à des déformations et des fissures et ainsi à des incidents.

Selon le document DE 40 15 204, pour éviter ces inconvénients, on connaît une tuyère de poussée pour un moteur d'avion comportant une enveloppe intérieure munie d'un  
20 certain nombre de canaux de refroidissement, cette enveloppe ayant une conductivité thermique élevée et elle est entourée de l'extérieur par une enveloppe de support, solide ; entre l'enveloppe intérieure et l'enveloppe de support on a une  
25 couche intermédiaire coulée. Cela permet de compenser les tolérances de fabrication de l'enveloppe intérieure et de l'enveloppe de support pour diminuer les exigences de précision de forme des deux enveloppes.

Le document DE 41 15 403 décrit une paroi de  
30 tuyère pour des rampes d'expansion et des tuyères à gaz chauds ayant une structure de support extérieure non exposée aux gaz chauds et une structure intérieure à plusieurs couches, écartées les unes des autres et des canaux de refroidissement exposés aux gaz chauds. Pour obtenir une poussée  
35 élevée et permettre de commuter simplement entre les différents modes de fonctionnement, on a de préférence des tuyères de poussée de construction rectangulaire. Les parois de telles tuyères de poussée sont toutefois exposées à des pres-

sions et des températures élevées. Contrairement à des parois de tuyères de section circulaire, les efforts de pression appliqués à des parois planes de tuyères rectangulaires ou de chambres de combustion engendrent des couples de flexion élevés. Cela peut engendrer des déformations bombées ou des contraintes dans les tuyères de poussées qui peuvent mettre en danger le fonctionnement correct des tuyères de poussée. De plus, l'effet « bimétal » complique la situation à cause des différences de température dans la cloison à plusieurs couches. Pour éviter des pertes de poussée et des courants de fuite, il faut des parois refroidies ayant une forme stable.

Cette paroi de tuyère, connue, possède un contour intérieur formé d'une couche conductrice de chaleur, exposée aux gaz chauds et d'une couche de glissement, réfractaire ; les canaux de refroidissement sont intégrés à la couche conductrice de chaleur et celle-ci est reliée élastiquement à la structure de support par plusieurs éléments de fixation traversant la couche de glissement. La couche de glissement peut ainsi être formée d'un granulats céramique alors que la couche conductrice de chaleur est en cuivre.

Les éléments de fixation peuvent être réalisés sous la forme de petits tubes et, du fait de la résistance minimale nécessaire, on ne dispose pas d'une course de dilatation suffisante lorsque la tuyère de poussée est exposée à des contraintes thermiques extrêmes, usuelles, dans de tels moteurs de forte puissance. Du fait des contraintes thermiques élevées, ainsi induites, et des dilatations plastiques considérable, la durée de vie est fortement limitée.

Cette limitation est occasionnée par une défaillance, par exemple une formation de fissure dans la paroi de la chambre de combustion après un nombre limité de cycles de charge et de déformations plastiques correspondantes ainsi que des déplacements provoqués par les dilatations thermiques bloquées, c'est-à-dire les contraintes secondaires liées aux tensions thermiques, élevées, induites (environ 80 % des contraintes totales).

Cela limite non seulement fortement la possibilité de réutilisation mais augmente le coût global du système

de support ; des pertes d'impulsions et des contraintes de transfert des composantes du moteur (y compris les turbopompes) résultent des fissures produites pendant le fonctionnement du moteur.

5           Même si l'on utilise d'autres matériaux intermédiaires entre la paroi exposée aux gaz chauds et la structure extérieure, comme par exemple de l'aluminium fritté ou de l'aluminium expansé, susceptibles d'absorber des déformations importantes, on rencontre des déformations irréversibles dans  
10 la plage plastique, ce qui correspond à des conceptions dit « d'usage unique ».

Les matériaux connus pour des éléments de support entre la paroi exposée aux gaz chauds et la structure extérieure environnante qui doivent permettre, par dilatation  
15 transversale un fléchissement, de céder d'une manière déterminée pendant le fonctionnement du moteur à forte puissance, montrent aucune dilatation élastique suffisante.

Le document DE 31 36 252 décrit une paroi céramique de chambre de combustion pour des têtes de brûleurs et des chambres de combustion s'intégrant dans des moteurs et  
20 des unités de combustion ; la paroi de la chambre de combustion est un composant intégré d'un échangeur de chaleur céramique avec des canaux d'écoulement à un ou plusieurs chemins. Par les techniques d'étirage, de feuilles et d'enroulement,  
25 on peut fabriquer de telles parois de chambres de combustion avec des échangeurs de chaleur à courant identique, à contre-courant et à courant transversal, comme ceux réalisés usuellement en métal. Comme matière pour la paroi de la chambre de combustion on utilise du carbure de silicium ou du nitrure de  
30 silicium.

La présente invention a pour but de développer une chambre de combustion d'un moteur ou d'une tuyère de poussée de forte puissance pour des engins volants, dont la durée de vie est augmentée considérablement pour permettre un  
35 grand nombre de cycles thermiques de la chambre de combustion, grâce à une meilleure fiabilité et un meilleur fonctionnement.

La construction selon l'invention de la chambre de combustion offre un grand nombre d'avantages. Elle est caractérisée en ce que l'enveloppe extérieure est en fibres longues C/SiC et le corps de base intérieur est en fibres courtes C/SiC contrairement à l'utilisation du métal qui entraîne une masse importante, une déformation élastique élevée et se traduit ainsi par une faible durée de vie, l'application selon l'invention de C/SiC avec sa faible masse et sa faible déformation plastique du fait de sa faible dilatation thermique aboutit à une durée de vie élevée.

L'enveloppe extérieure, de préférence en fibres anisotropes, longues, 2D/C/SiC, peut être soit obtenue par enroulement, soit être fabriquée sous la forme d'une pièce pré-imprégnée.

Le corps de base intérieur, en fibres courtes isotropes C/SiC, peut s'usiner mécaniquement sans difficultés ; on peut fraiser les canaux de refroidissement dans ce corps de base. En outre, l'utilisation de fibres courtes C/SiC offre également les avantages suivants :

- construction légère monolithique,
- très grande rigidité, réglable,
- faible densité,
- usinage/mise en forme facile et proche de la forme définitive pour l'état de base (par exemple par travail au tour),
- très forte résistance aux chocs thermiques,
- conductivité thermique élevée,
- faibles coefficients de dilatation thermiques,
- résistance chimique élevée,
- pas de fluage sous l'effet de contraintes mécaniques,
- coût relativement faible des matières premières et
- faible coût de fabrication.

D'autres avantages de l'invention sont caractérisés en ce que :

- le côté de l'enveloppe extérieure, tourné vers le corps de base intérieur, est muni d'une couche  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,
- le côté de l'enveloppe extérieure, tourné vers le corps de base intérieur, est muni d'une couche  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,

- les côtés extérieurs des segments du corps de base intérieur, reliés à l'enveloppe extérieure, sont munis d'une couche SiC.

La présente invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide d'une chambre de combustion représentée partiellement, de façon schématique en coupe. Ainsi :

- la figure 1 montre une partie de la chambre de combustion à l'état d'utilisation,

10 - les figures 2A-2C représentent différentes étapes de fabrication de la chambre de combustion selon l'invention,

- les figures 3A, 3B sont des vues à échelle agrandie d'une partie d'une chambre de combustion.

15 Selon les figures, la référence 1 désigne l'enveloppe extérieure de la chambre de combustion qui reçoit toutes les charges mécaniques ; cette enveloppe est réalisée selon l'invention de fibres longues, anisotropes, C/SiC, de préférence des fibres longues 2D/C/SiC. Comme l'indique la  
20 référence 3, ces fibres peuvent être enroulées ; il est également possible, dans les mêmes conditions, de fabriquer l'enveloppe extérieure 1 sous la forme d'un ensemble pré-imprégné.

La référence 2 désigne le corps de base intérieur  
25 qui se compose selon l'invention de fibres courtes isotropes C/SiC ; ce corps de base est facile à usiner mécaniquement de sorte que l'on peut fraiser sans difficultés les canaux de refroidissement 4 servant à la fonction de refroidissement.

La figure 2A montre l'enveloppe extérieure et le  
30 corps de base, séparés l'un de l'autre ; selon un exemple de réalisation avantageux, le côté de l'enveloppe extérieure, tourné vers le corps de base intérieur 2, reçoit une couche 6 en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

De même, avant de réunir les deux pièces, on applique sur le côté extérieur 5 des segments du corps de base  
35 intérieur 2, destiné à être relié à l'enveloppe extérieure 1, et après réalisation des canaux de refroidissement 4, une

couche SiC, de préférence par dépôt chimique de vapeur (procédé CVD).

Selon la figure 2B, après avoir relié l'enveloppe extérieure 1 et le corps de base intérieur 2, on a la chambre de combustion terminée ; au niveau des points de liaison des deux composants on a une soudure céramique de liaison de forme  $(Al_2O_3 + SiC) = \text{silicate}$  comme cela est indiqué par la référence V.

Dans la variante de la figure 2C on obtient une liaison par la forme V' entre l'enveloppe extérieure 1 et le côté extérieur 5 des segments du corps de base intérieur 2 en contact, par infiltration simultanée des fibres courtes et des fibres longues avec du silicium.

La figure 3A montre une partie d'une structure usuelle de chambre de combustion réalisée en Cu, Ag, Zr à construction intégrale, avec refroidissement régénératif par  $LH_2$  ; dans ce cas, les contraintes thermiques caractéristiques sont représentées pour déterminer ainsi la déformation plastique globale pour de telles valeurs. Les températures indiquées se traduisent par une déformation plastique par les gradients de température au niveau de la paroi intérieure de :

		0,37 %
	une déformation plastique par la	
	différence de température entre la	
25	paroi intérieure et la paroi extérieure	1,33 %
	et ainsi une déformation plastique	
	globale de	1,70 %.

La figure 3B montre une structure de paroi de chambre de combustion C/SiC en construction intégrale et refroidissement régénératif par  $LH_2$  ; pour les contraintes de températures caractéristiques, représentées, on obtient les valeurs suivantes :

35	- déformation plastique par les	
	gradients de température dans la paroi	
	intérieure	0,30 %
	- déformation plastique par la différence	



de température entre la paroi intérieure  
et la paroi extérieure 0,55 %  
- ainsi une déformation plastique globale 0,85 %.

5           Ainsi, dans les deux cas, dans les mêmes conditions de transfert thermique entre le côté exposé aux gaz chauds et le côté refroidi, pour les deux structures, sensiblement dans les contraintes thermiques correspondantes pour un moteur à hydrogène/oxygène, avec des pressions de chambre  
10 de combustion supérieures à 200 bars comme valeur maximale dans le canal de la tuyère.

On reconnaît que l'avantage de la conception selon l'invention d'une structure de chambre de combustion C/SiC réside dans une déformation plastique considérablement  
15 réduite par rapport aux structures métalliques, permettant une augmentation considérable de la durée de vie.

Bien que la conductivité thermique de la structure céramique intérieure ne représente au maximum qu'un tiers de celle obtenue par les alliages de cuivre, du fait  
20 des coefficients de dilatation thermique plus faibles, on divise sensiblement par deux la déformation plastique, comme cela résulte des données indiquées aux figures 3A et 3B.

Pour l'exemple numérique indiqué, on a supposé une contrainte thermique extrêmement élevée appliquée à la  
25 paroi, de l'ordre de  $120 \text{ MW/m}^2$ , c'est-à-dire une valeur maximale qui peut exister dans les moteurs à hydrogène/oxygène et des pressions de chambres de combustion supérieures à 220 bars, susceptibles de se produire localement dans le col de la tuyère.

30           Pour des pressions plus faibles dans la chambre de combustion, comme par exemple dans le moteur Vulcain, on a sensiblement des contraintes thermiques divisées par deux, si bien que la structure en céramique selon l'invention ne se traduit pratiquement que par des déformations proches de celles  
35 du domaine élastique.

On augmente ainsi la durée de vie de la chambre de combustion selon l'invention par rapport à celle des chambres de combustion connues réalisées dans des alliages de

cuivre, l'augmentation étant au moins égale à dix fois, comme cela est nécessaire pour des fusées porteuses, réutilisables.

R E V E N D I C A T I O N S

1°) Chambre de combustion pour un moteur et une tuyère de forte puissance d'engins volants, notamment de fusées, comprenant

5 une enveloppe extérieure et un corps de base intérieur exposé aux gaz chauds, ce corps de base étant muni d'un grand nombre de canaux de refroidissement,

caractérisée en ce que

10 l'enveloppe extérieure (1) est en fibres longues C/SiC et le corps de base intérieur (2) est en fibres courtes C/SiC.

2°) Chambre de combustion selon la revendication 1,

caractérisée en ce que

15 le côté de l'enveloppe extérieure (1), tourné vers le corps de base intérieur (2), est muni d'une couche  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (6).

3°) Chambre de combustion selon la revendication 1,

caractérisée en ce que

20 le côté de l'enveloppe extérieure (1), tourné vers le corps de base intérieur (2), est muni d'une couche  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6).

4°) Chambre de combustion selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisée en ce que

25 les côtés extérieurs des segments (5) du corps de base intérieur (2), reliés à l'enveloppe extérieure (1), sont munis d'une couche SiC.

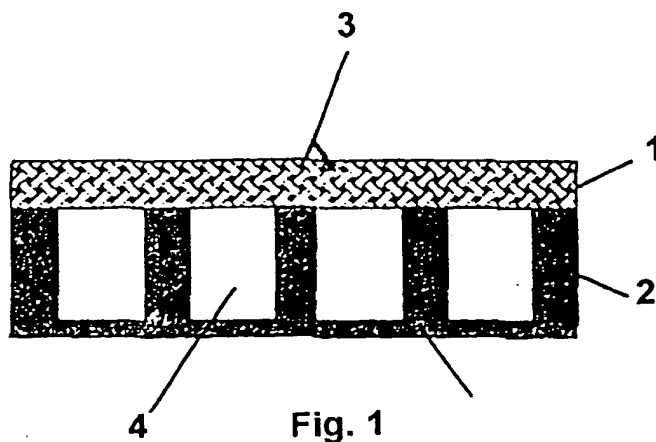


Fig. 2a

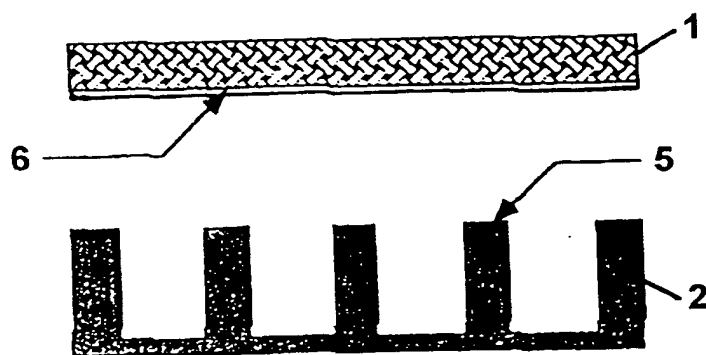


Fig. 2b

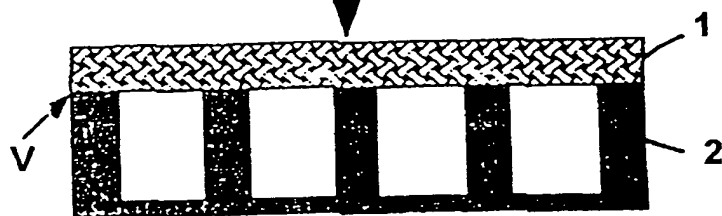
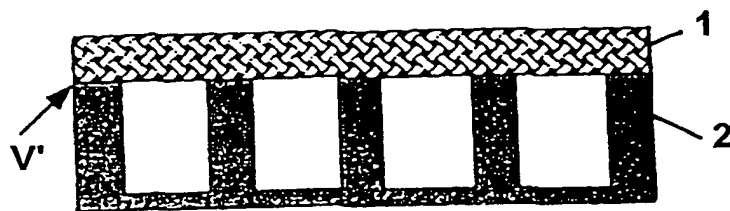


Fig. 2c



BEST AVAILABLE COPY

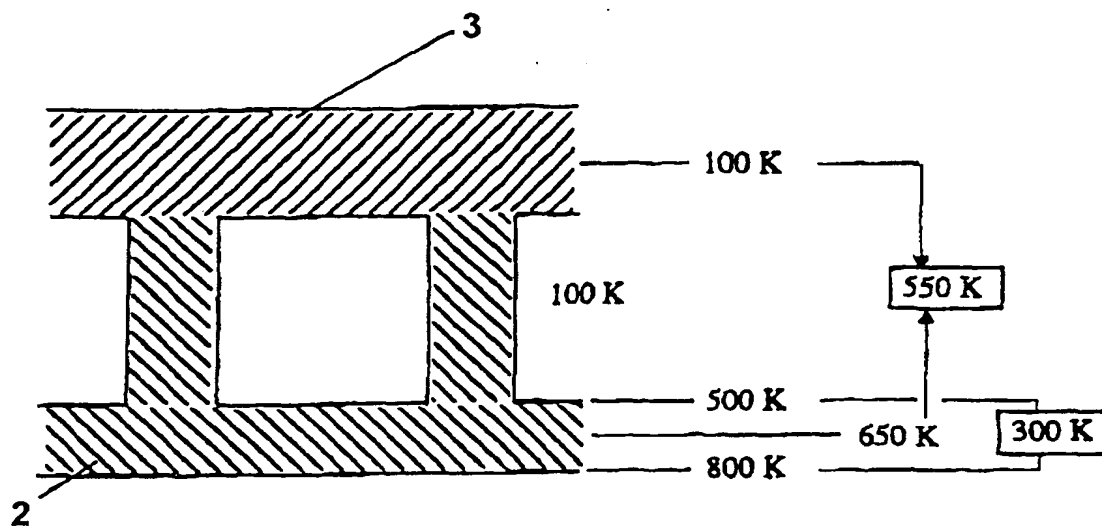


Fig. 3a

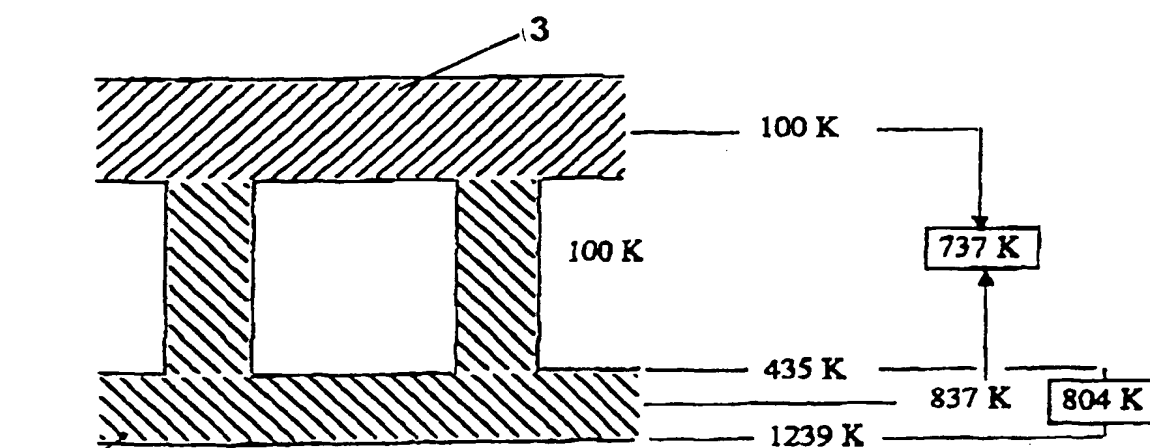


Fig. 3b

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**